

⑫ 特 許 公 報 (B 2)

平2-15349

⑬ Int. Cl. ⁸

B 25 J 3/04

識別記号

庁内整理番号

7828-3F

⑭ 公告 平成2年(1990)4月11日

発明の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 マニプレータの制御装置

⑯ 特 願 昭59-154680

⑰ 公 開 昭61-33878

⑱ 出 願 昭59(1984)7月25日

⑲ 昭61(1986)2月17日

⑳ 発 明 者 鈴木 正 憲 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネ
ギー研究所内

㉑ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

㉒ 代 理 人 弁理士 鶴 沼 辰 之 外2名

審 査 官 秋 田 修

1

2

㉓ 特許請求の範囲

1 マスタ・スレーブ式マニプレータとテレビカメラとテレビモニタとを含むマニプレータシステムの制御装置において、マスタの現在位置情報をテレビカメラのズーム倍率で割った値に比例した値をスレーブの位置情報とし、テレビモニタに映るマニプレータの移動量をズーム倍率によらずマスタの移動量と略等しくする制御回路を備えたことを特徴とするマニプレータの制御装置。

2 特許請求の範囲第1項の制御装置において、スレーブの現在の力情報とズーム倍率との積に比例した力情報をマスタの力指令情報とする回路を備えたことを特徴とするマニプレータの制御装置。

3 特許請求の範囲第1項または第2項の制御装置において、マスタモータ信号を求めるためのパラメータを、ズーム倍率の時間変化がある場合はマスタ及びスレーブの力信号とし、ズーム倍率の時間変化がない場合はマスタ及びスレーブの位置情報とする切り換え回路を備えたことを特徴とするマニプレータの制御装置。

4 特許請求の範囲第3項の制御装置において、ズーム倍率の時間変化が0でない場合、スレーブ関節を現在位置に固定する回路を備えたことを特徴とするマニプレータの制御装置。

発明の詳細な説明

〔発明の利用分野〕

本発明は、原子力発電プラントなど人間が容易には接近し難い環境において、遠隔操作により保守作業をするのに好適でテレビモニタシステムを含むマニプレータシステムの制御装置に関する。

5 〔発明の背景〕

従来のマスタ・スレーブ式マニプレータの遠隔操作方法としては、特開昭59-24973号、特開昭59-47174号等がある。その中で一对のテレビカメラを用いて立体映像を得て操作する例としては、特開昭58-137575号がある。この例では、スレーブマニプレータの立体映像とマスタマニプレータとを等しい大きさで同時に重ねて観察できるようにしてある。しかしオペレータの視覚に映るマスタマニプレータの実像とスレーブマニプレータの虚像の大きさがわずかでも異なると、マスタマニプレータの動きとスレーブマニプレータの動きの相対ずれが位置によつて異なり、観察も操作も極めてしにくい問題があつた。

また、マスタマニプレータの実像の前方にスレーブマニプレータの虚像を離しておき、この影響を抑えた場合には、像が小さいこともあつてマニプレータに微小な動きを実現させることは困難であつた。これらの原因は、マニプレータの動力伝達機構部にあるバックラッシュや摩擦であり、また視覚情報が十分に与えられていないことである。

〔発明の目的〕

本発明の目的は、モニタテレビ上の映像をみながら操縦するマニプレータにおいて、オペレータがマニプレータの微小動作や微妙な力を容易に制御でき、スレーブマニプレータを実視しているのと変わらない臨場感を得るのに好適なマニプレータの制御装置を提供することである。

〔発明の概要〕

本発明は、ズームレンズを有するテレビカメラとテレビモニタとマスタ・スレーブマニプレータとからなるシステムにおいて、テレビモニタの映像の倍率Mに応じて、マスタアームの動きを拡大・縮小しスレーブに伝える制御回路を設ける。この回路によりテレビ画面上のスレーブ先端の移動量とマスタアーム先端の移動量がズーム倍率によらず一定になるように制御する。この結果、スレーブアームの動きをとらえたオペレータの視覚情報とマスタアームを操作するオペレータの腕の動きとが一致し、オペレータとスレーブアームとの一体感が増す。従来はズームアップした場合、テレビ画面上のスレーブアームの動きがマスタアームに比し大きくなるため、操作が困難であつた。しかし本発明によれば、テレビ画面上のスレーブ先端の移動量とマスタアーム先端の移動量とがズーム倍率によらず一定であるので、マニプレータの操作性が向上する。

〔発明の実施例〕

以下、本発明の一実施例を図面によって説明する。第2図は本発明を適用するシステム構成を示したものである。本システムは、オペレータ9が操作するマスタマニプレータ1aと、それと相似な形状で現場作業するスレーブマニプレータ1bと、作業現場を撮影するテレビカメラ6と、オペレータ9が遠方から作業現場を観察するためのテレビモニタ5と、制御装置15とから構成される。マスタマニプレータ1aは架台2から吊下げられている。マスタマニプレータ1aは、肩関節10a、肘関節11a、手首関節12aを有し、腕の自由度は6である（動作方向は101a～106a）。また、スレーブマニプレータ1bも同様に肩関節10b、肘関節11b、手首関節12bを有し、腕の自由度は6である（動作方向は101b～106b）。両マニプレータの各関節の回転角は、自由度毎に独立制御される。すなわち、第1表に示すようにマスタベース回転方向1

01aの関節とスレーブベース回転方向101bの関節とが一組を構成し、またマスタ肩関節回転方向102aとスレーブ肩関節回転方向102bの各関節が一組を構成し、以下同様に各自由度毎に組を構成す

第 1 表

動作自由度	マスタ動作方向	スレーブ動作方向
ベース回転	101a	101b
肩関節回転	102a	102b
肘関節回転	103a	103b
手首関節(ピッチ)	104a	104b
手首関節(ヨー)	105a	105b
手首関節(ロール)	106a	106b
グリッパ開閉	107a	107b

る。各関節は制御装置15によつて、各組毎に独立制御される構成になっている。カメラ用アーム4はその一端がスレーブ肩関節10bと連結されており、他の一端にはテレビカメラ6が装着されている。スレーブアーム1bを含めた現場の状況が、ズームレンズ7を介してテレビカメラ6によりとらえられ、その映像がオペレータ9の近くにあるモニタテレビ5に映し出される。オペレータはこの映像を視ながら、マスタマニプレータ1aを操作し、スレーブマニプレータ1bを操縦する。

各関節の制御装置は、各組別に同一の構成であるから、一組の関節を例にとつて説明する。

第1図は一組の関節の制御機構である。マスタ関節軸16aには、力センサ22aとモータ20aと位置検出器21aが連動するように連結されている。同じくスレーブ関節軸16bには、力センサ22bとモータ20bと位置検出器21bが連動するように連結されている。ズームレンズ7はスイッチ37からのズーム指令信号C₂によつてそのズーム倍率Mが変わる。現在のズーム倍率Mは、検出器23により検出される。ズーム倍率信号Mとマスタ現在位置信号P_Mは演算器29に入力される。演算器29の出力はP_M/(k₁M)となり、スレーブ位置目標設定器31に入力される。スレーブ位置目標設定器31の出力P_{SR}は、

スレーブ位置検出器 21b の出力信号 P_s とともに演算器 24 に入力される。演算器 24 の出力 $P_{sr} - P_s$ はスレーブモータ 20b に入力される。また、スレーブ現在位置信号 P_s とズーム倍率信号 M は演算器 28 に入力され、 $k_1 MP_s$ となる。演算器 28 の出力信号 $k_1 MP_s$ は、マスタ現在位置信号 P_M とともに演算器 26 に入力され、 $(k_1 MP_s - P_M)$ となる。この出力信号はスイッチ 34 に入力される。スレーブ力検出器 22b の出力信号 F_s は、ズーム倍率信号 M とともにマスタ力指令設定器 35 10 に入力され、マスタ力指令値 F_{MR} となる。マスタ力検出器 22a の出力信号であるマスタ力現在信号 F_M はマスタ力指令値 F_{MR} とともに減算器 25 に入力され、出力 $(F_{MR} - F_M)$ となる。信号 $(F_{MR} - F_M)$ は、スイッチ 34 の出力信号とともに加算器 27 を介してマスタモータ 20a に入力される。ズーム信号 M は、ゲート発生回路 30 に入力され、下記のゲート信号 G_1 が出力される。

$$G_1 = \begin{cases} 0 & (\frac{dM}{dt} = 0) \\ 1 & (\frac{dM}{dt} \neq 0) \end{cases} \quad 20$$

ゲート信号 G_1 は、スレーブ位置目標設定器 31 及びスイッチ 34 に入力される。スレーブ位置目標設定器 31 の出力信号 P_{sro} は、ゲート信号 G_1 に応じて下記のようになる。

$$P_{sr} = \begin{cases} P_M / (k_1 M) & (G_1 = 0) \\ P_{sro} & (G_1 = 1) \end{cases}$$

ここに、 P_{sro} は G_1 が 0 から 1 に変化する直前の $P_M / (k_1 M)$ である。

スイッチ 34 の出力信号 P_{ME} は

$$P_{ME} = \begin{cases} 0 & (G_1 = 0) \\ k_1 MP_s & (G_1 = 1) \end{cases}$$

となる。

また、スイッチ 35 の出力であるマスタ力指令値 F_{MR} は、スイッチ 36 からのモード指令信号 C_F 及び上記ゲート発生回路 30 からのゲート信号 G_1 に応じて下記のようになる。

$$F_{MR} = \begin{cases} 0 & (G_1 = 1) \\ k_2 F_s & (G_1 = 0, C_F = 0) \\ k_2 MF_s & (G_1 = 0, C_F = 1) \end{cases} \quad 40$$

なお、パラメータ C_F は、スレーブからマスタに伝達する力の制御モードを定める指令信号であ

り、伝達する力の大きさをズーム倍率に応じて変化させるか否かを選択するために用いる。

以上まとめると、マスタ及びスレーブのモータ 20a, 20b に入力される信号はズーム倍率 m とモード指令信号 C_F の状態に応じて、第 2 表のようになる。

C_F , C_z は、第 2 図に示す制御装置 15 に装着されたスイッチ 36, 37 の出力信号であり、オペレータの操作によつて変化する。

第 2 表

C_F	$\frac{dM}{dt}$	マスタモータ信号	スレーブモータ信号
0	0	$k_2 F_s - F_M$	$\frac{P_M}{k_1 M} - P_s$
0	$\neq 0$	$k_1 MP_s - P_M$	P_{sro}
1	0	$k_2 MF_s - F_M$	$\frac{P_M}{k_1 M} - P_s$
1	$\neq 0$	$k_1 MP_s - P_M$	P_{sro}

次に動作原理について説明する。マスタ及びスレーブの各関節軸は、 C_F , $\frac{dm}{dt}$ ($= \frac{dM}{dt}$) の値によつて、次のように制御される。

A. $C_F = 0$, $\frac{dM}{dt} = 0$

マスタ関節は、外部からスレーブ関節に加わっている力の k_2 倍の力が発生するように制御される。スレーブ関節は、マスタ関節の動きに従って位置制御される。但し、マスタ関節の動作角 θ_{MR} は、 $\frac{\theta_M}{k_1 M}$ 倍されて、スレーブに伝達されるので、スレーブの動作角は、

$$\theta_{sr} = \frac{\theta_M}{k_1 M} \quad \dots\dots(1)$$

となるように、マスタ関節に追従する。

この状況は第 3 図に示してある。このときマスタ関節を点 A_{MR} から点 B_{MR} としてある。もし、本発明のような回路を付加しない場合、スレーブ関節は A_1 から点 B_1 まで角度 θ_{s1} ($= \theta_M$) だけ回転するが、オペレータが観察しているモニタ画面上では、点 A_1 から点 B_1 まで動作角 $M\theta_{s1}$ 動く。従つて、オペレータがマスタ関節を微小に動かした場合でも、モニタ画面上ではその動き

7

がM倍されるので、スレーブ関節をモニタ画面上で微小に動かすためには、マスタ関節を1/M倍だけ小さく動かす必要がある。このため操作が困難となり、オペレータの負担が大きくなる問題が生じる。

しかし、本実施例ではモニタ画面上でスレーブ関節を θ_{sr} 動かすためには、マスタ関節をそれと同じ角度 $\theta_{mr}=\theta_{sr}$ だけ動かせばよく、このとき実際のスレーブ関節の動作角 θ_{sr} は、 $\theta_{sr}=$

$1/M\theta_{sr}(=\frac{1}{M}\theta_{mr})$ すなわち、1/M倍に縮

小される。従つて、オペレータは、モニタ画面上のスレーブマニプレータを含む映像をズームアップさせた場合であっても、モニタ画面上のスレーブマニプレータを観察しながら、スレーブマニプレータの微小な位置決めが簡単にできる。

すなわち、第4図に示すように、オペレータ9がマスタマニプレータ1aのハンドル部13aを把持し、ハンドル部13aをモニタテレビ5の画面と平行に l_m だけ動かしたとき、テレビ画面上で l_s だけ動く。実際のスレーブマニプレータの動作距離を l_s とすると、 l_s は次式で与えられる。

$$l_s = m l_m \quad \text{.....(2) 25}$$

ここに、mはスレーブ関節の実像に対するテレビモニタ映像の倍率であり、テレビカメラ6とスレーブマニプレータ1bのグリツパ13bとの距離L(第2図)の間に

$$m = m_0 \cdot M \cdot L \quad \text{.....(3) 30}$$

が成り立つ。また、 $l_s = P_s$ から、(2)は

$$l_s = m_0 \cdot M \cdot L \cdot P_s$$

となる。第2表で明らかなおとおり、 $P_s = \frac{P_m}{k_1 M}$

となるように位置制御されるから

$$l_s = \frac{m_0 L}{k_1} P_m$$

さらに、 $P_m = l_m$ だから結局、

$$l_s / l_m = \frac{m_0 L}{k_1} \quad \text{.....(4) 40}$$

マスタマニプレータの動作距離 l_m とテレビモニタ画面上でのスレーブマニプレータの動作距離 l_s の比を一定にするには、 $m_0 L / k_1$ が一定値になるように制御すればよい。そこで、

8

$$L = L_0 (= \text{一定値}) \quad \text{.....(5)}$$

となるように、カメラ用アーム4を位置制御する構成になっている。このとき、

$$k_1 = \frac{l_1}{m_0 L_0 \cdot l_m} \quad \text{.....(6)}$$

で与えられる。

本実施例では、カメラ用アーム4は、肩関節10b上に装着されているので、その自由度は3でよく、第2図に110~113で示す動作方向を有する構造になっている。

また、マスタ関節はスレーブ関節に外部から加えられている力 F_s に力ゲイン k_2 を掛けた力が発生するように制御される。この場合、スレーブマニプレータが現在力を及ぼしている対象物の剛性(ばね定数 k)は、次式で与えられる。

$$k = F_s / \Delta P_s \quad \text{.....(7)}$$

ここに、 ΔP_s はスレーブマニプレータが対象物に力を加えたことによる変形量である。マスタ関節は、第2表から、 $F_m = k_2 F_s$ となる形でマスタマニプレータに反力が発生するように、力制御される。一方、スレーブマニプレータが ΔP_s だけ変位するには、マスタマニプレータは、第2表から $\Delta P_m = k_1 M \Delta P_s$ だけ変位する必要がある。この結果、マスタマニプレータに伝達される剛性 k_2 は、

$$k_2 = \frac{F_m}{\Delta P_m} = \frac{k_2 F_s}{k_1 M \Delta P_s} = \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{k}{M} \quad \text{.....(8)}$$

となる。従つて、

$$k_2 = k_1 \quad \text{.....(9)}$$

と選んだ場合、マスタに伝達される剛性は1/M倍になる。これは、スレーブマニプレータが硬いものを扱っていても、マスタマニプレータを操作するオペレータは、軟いものを扱っているように感じとることになる。また、対象物が振動している場合に、その振動がマスタマニプレータには1/M倍に減少して伝えられることになり、不要な情報をマスタマニプレータに伝達しない。

$$B \quad C_r = 1, \frac{dm}{dt} = 0$$

作業対象によつては、スレーブ側の剛性を正確にマスタに伝達する必要がある。例えば、極めて脆い材料などを扱う場合などが考えられ

る。この場合には、 $C_F = 1$ 、 $\frac{dm}{dt} = 0$ のモードを用いればよい。すなわち、 $F_M = k_2 M F_S$ から

$$k_3 = \frac{F_M}{\Delta P_S} = \frac{k_2 F_S}{k_1 \Delta P_S} = \frac{k_2}{k_1} k \quad \cdots \cdots (10)$$

$k_1/k_2 = 1$ と選べば、

$$k_3 = k \quad \cdots \cdots (11)$$

となる。

C ズーム倍率Mが変化している場合 ($\frac{dm}{dt} \neq 0$)。

ズーム倍率Mを変化させると、スレーブ位置指令値 θ_{sr} が(1)式に従って変化する。これはスレーブマニプレータがズーム倍率の変化によって、マスタマニプレータとは無関係にドリフト運動を起すことを意味する。A及びBのモードのままでは、ズーム倍率を変更中、スレーブマニプレータが周囲の障害物に衝突しないように注意する必要がある。不必要なズーム操作によってスレーブマニプレータが障害物に衝突し、本体及び障害物を破壊する危険もある。そこで、ズーム倍率Mが変化している場合には、スレーブマニプレータの全関節の位置指令値 P_{sr} を変化直前の値 P_{sno} に固定するように演算し、スレーブ関節を現在位置に引続いて静止させるように位置制御する。同時に、マスタ関節は

$$P_M = k_1 M P_S \quad \cdots \cdots (12)$$

となるように位置制御する。もし、この位置制御が実行されない場合には、同一倍率で、マスタマニプレータを同一関節姿勢にしても、スレーブマニプレータは同一の位置に戻らず、位置の再現性が得られない。本実施例では(12)式で示される位置制御をマスタ関節に実行してあるので、マスタマニプレータとスレーブマニプレータ間の位置再現性が損なわれない。

以上のように本実施例によれば、マスタ・スレーブマニプレータをズーム倍率の変化を意識しないで操縦できる効果がある。

他の実施例として、マスタマニプレータの代りにジョイスティック等を用いた場合、ズーム倍率

Mとジョイスティックによるスレーブ速度指令値 v_r の比 v_r/M をスレーブマニプレータの速度指令値となるようにスレーブ関節を速度制御しても、同様な効果が得られる。

5 他の変形例として、テレビモニタの代りに立体テレビを用いてもよい。本変形例によれば、より詳細な微小位置決めが可能になる効果を有する。

また他の一変形例として、テレビモニタ上のズーム倍率を変える手段に、ズームレンズの代りに、画像処理装置によりモニタ画面の映像を拡大・縮小させる方法を用いても同様の効果が得られる。本変形例によれば、ズームレンズが不要になり、スレーブマニプレータの重量を軽減できる効果がある。また、画像処理装置の代りに、スレーブグリツバ13bとテレビカメラ6との距離Lを変形させても同様の効果が得られる。

〔発明の効果〕

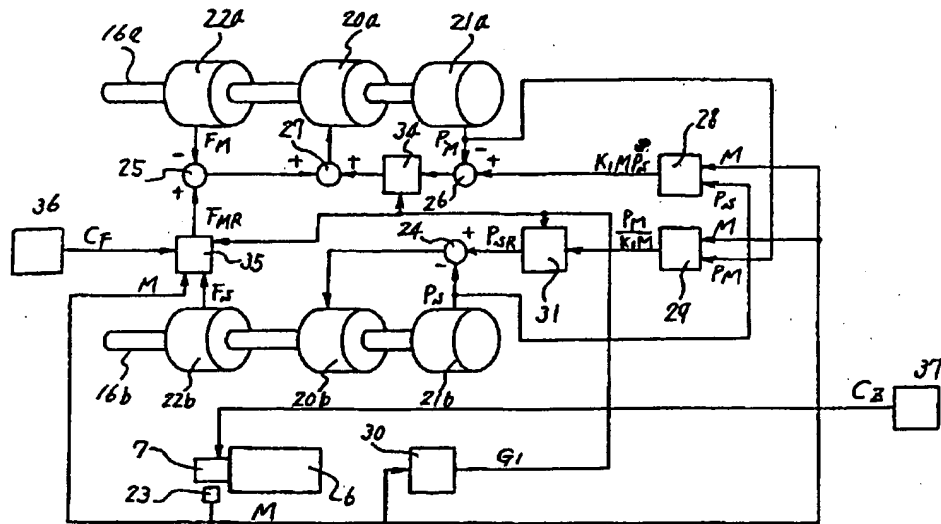
本発明によれば、ズーム倍率Mに応じて、スレーブマニプレータの動きが $1/M$ 倍となるので、モニタテレビ上のマニプレータの映像の動作量は、ズーム倍率に無関係にオペレータの指令値のみに依存し、マニプレータの微妙な動作の操作性が飛躍的に向上する。

図面の簡単な説明

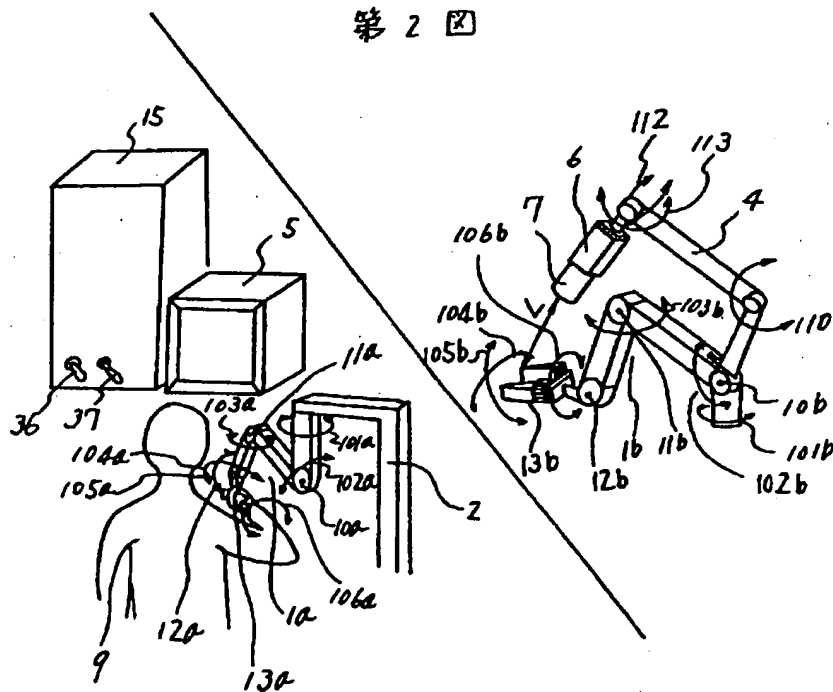
25 第1図は本発明によるマニプレータの制御装置の一実施例を示すブロック図、第2図は本発明を適用すべきマニプレータシステムの一例を示す概略図、第3図はマスタとスレーブの動作角の関係を示す図、第4図はマスタとモニタテレビ画面上の

30 のスレーブの移動量との関係を示す図である。
1……マニプレータ、4……カメラ用アーム、5……モニタテレビ、6……テレビカメラ、7……ズームレンズ、15……制御装置、20……モータ、21……位置検出器、22……力センサ、35 23……ズーム倍率検出器、24～29……演算器、30……ゲート発生回路、31……スレーブ位置目標設定器、34……スイッチ、35……マスタ力指令設定器、36、37……制御装置15のスイッチ。

第 1 図



第 2 図



TRANSLATION FROM JAPANESE

(19) JAPANESE PATENT OFFICE (JP)

(12) Japanese Patent Publication (Kokoku) No. **2-15349**

(10) Official Gazette for Patent Publications (B2)

(51) Int. Cl.⁵: Classification Symbols: JPO File No.:

B25J 3/04

7828-3F

(24) (44) Registration Date: Apr. 11, 1990

Number of Inventions: 1

(Total of 7 pages [in the original])

(54) Title of the Invention: **Control device for manipulator**

(21) Application No. 59-154680 (65) Kokai 61-33878

(22) Filing Date: Jul. 25, 1984 (43) Feb. 17, 1986

(72) Inventor: SUZUKI Masanori

(71) Applicant: HITACHI CORP.

(74) Agent: UNUMA Tatsuyuki, Patent Attorney 2 additional

Examiner: AKITA Osamu

(57) **Claims**

1 Control device for a manipulator system which comprises a master/slave type manipulator, a television camera, and a television monitor, wherein said manipulator control device comprises a control circuit that designates as position information for the slave a value which is proportional to a value obtained by dividing current position information for the master by the zoom factor of the television camera, and that makes manipulator displacement displayed on the television monitor substantially equal to displacement of the master regardless of zoom factor.

2 Control device according to claim 1 comprising a circuit that designates force information, proportional to product of current force information for the slave and the zoom factor, as force instruction information for the master.

3 Control device according to claim 1 or 2 comprising a switchover circuit that designates a parameter for invoking a master motor signal as the master and slave force signal in the event of a time change in zoom factor, or as position information for the master and slave in event that there is no time change in zoom factor.

4 Control device according to claim 3 comprising a circuit that fixes the slave joint at its current position in the event that the time change in zoom factor is 0.

Detailed Description of the Invention

(Field of Utilization of the Invention)

The present invention relates to a control device for a manipulator system for use in environments not easily approachable by humans (such as a nuclear force generating plant) and that is equipped with a television monitoring system enabling unmanned operation by remote control.

(Background of the Invention)

Methods for remote operation of master/slave manipulators have been disclosed inter alia in Unexamined Patent Application 59-24973 and Unexamined Patent Application 59-47174. Unexamined Patent Application 58-137575 teaches an example of control using a pair of television cameras to produce a three-dimensional image. In this example, a three-dimensional image of the slave manipulator and the master

manipulator may be viewed simultaneously superimposed at the same size. However, even a slight difference in size between the actual image of the master manipulator and the virtual image of the slave manipulator viewed by the operator will result in relative deviance, differing in a manner dependent on location, in displacement of the master manipulator and displacement of the slave manipulator, creating the problem of extreme difficulty in both observation and operation.

Where the virtual image of the slave manipulator is placed apart to the front of the actual image of the master manipulator in order to reduce this effect, not only is the image small, but it is also difficult to produce fine movement of the manipulator. The causes of this are backlash and friction in the force transmission mechanism of the manipulator, and failure to provide adequate visual information.

(Object of the Invention)

It is an object of the present invention to provide a manipulator control device for a manipulator that is maneuvered while viewing an image on a monitor television, whereby an operator may readily control extremely fine movement and slight force levels of the manipulator, and which is suitable for producing a realistic impression indistinguishable from actual viewing of the slave manipulator.

(Summary of the Invention)

The present invention provides, in a system comprising television camera having a zoom lens; a television monitor; and a master/slave manipulator; a control circuit that expands or contracts motion of the master arm for transmission to the slave, in a manner dependent on the magnification M of the image shown on the television monitor. Displacement of the distal end of the slave appearing on the television screen and displacement of the distal end of the master arm are controlled by this circuit to constant values regardless of zoom factor. As a result, visual information presented to the operator regarding motion of the slave arm matches the movement of the arm as the operator manipulates the master arm, enhancing the perception of integration between operator and slave arm. In conventional systems, in zoom up, motions of the slave arm on the television screen are large relative to [actual motions of] the master arm, making manipulation difficult. According to the present invention, however, displacement of the

distal end of the slave appearing on the television screen and displacement of the distal end of the master arm are constant regardless of zoom factor, thus improving operability of the manipulator.

(Embodiments of the Invention)

An embodiment of the invention is described hereinbelow with reference to the accompanying drawings. Fig. 2 shows a system design implementing the present invention. The system comprises a master manipulator 1a controlled by an operator 9; a slave manipulator 1b of similar shape thereto, that operates at the actual work site; a television camera 6 for filming the work site; a television monitor 5 that allows the operator 9 to view the work site from a remote location; and a control device 15. Master manipulator 1a is suspended from a crossbar 2. Master manipulator 2 has a shoulder joint 10a, elbow joint 11a, and wrist joint 12a; the arm has a degree of freedom of 6 (directions of motion are 101a -106a). The slave manipulator 1b similarly has a shoulder joint 10b, elbow joint 11b, and wrist joint 12b, and an arm degree of freedom of 6 (directions of motion are 101b -106b). Rotation angles of the joints of the two manipulators are controlled independently for each degree of freedom. That is, as indicated in Table 1, the joint for the master base rotation direction 101a and the joint for the slave base rotation direction 101b constitute one set; the joint for the master shoulder rotation direction 102a and the joint for the slave shoulder rotation direction 102b constitute [another] set, and so on, to provide a set for each degree of freedom. Each joint is designed to be independently controlled for each set by control device 15.

Table 1

motion degree of freedom	master motion direction	slave motion direction
base rotation	101a	101b
shoulder joint rotation	102a	102b
elbow joint rotation	103a	103b
wrist joint (pitch)	104a	104b
wrist joint (yaw)	105a	105b
wrist joint (roll)	106a	106b
gripper open/shut	107a	107b

A camera arm 4 is linked at a first end thereof to the shoulder joint 10b of the slave, and the other end has a television camera 6 mounted thereon. On-site conditions, including the slave arm, are captured by the television camera 6 through the zoom lens 7, and the

images are displayed on a monitor television 5 situated in proximity to operator 9. The operator 9 manipulates master manipulator 1a while viewing the images, to control the slave manipulator 1b.

Control devices for each joint are substantially the same for each set, so hereinbelow the joints of one set shall be described by way of example.

Fig. 1 is a control mechanism for joints of one set. A force sensor 22a, motor 20a, and position sensor 21a are linked to a master joint shaft 16a so as to interlock therewith. Similarly, a force sensor 22b, motor 20b, and position sensor 21b are linked to a slave joint shaft 16b so as to interlock therewith. A zoom lens 7 changes its zoom factor M by means of a zoom command signal C_Z from a switch 37. Current zoom factor M is sensed by a sensor 23. A zoom factor signal M and a master current position signal P_M are input to a computing unit 29. The output of computing unit 29 is $P_M/(k_1M)$, which is input to a slave position target setting unit 31. The output P_{SR} of slave position target setting unit 31 is input to a computing unit 24 together with the output signal P_S of slave position sensor 21b. The output $P_{SR}-P_S$ of computing unit 24 is input to slave motor 20b. A slave current position signal P_S and zoom factor signal M are input to a computing unit 28, giving k_1MP_S . The output signal k_1MP_S of computing unit 28 is input to computing unit 26 together with the master current position signal P_M , giving $(k_1MP_S-P_M)$. This output signal is input to a switch 34. The output signal F_S from slave force sensor 22b is input to a master force command setting unit 35 together with zoom factor signal M , giving a master force command value F_{MR} . A master current force signal F_M , which is the output signal of master force sensor 22a, is input to a subtracter 25 together with the master force command value F_{MR} , giving the output $(F_{MR}-F_M)$. Together with the output signal of switch 34, signal $(F_{MR}-F_M)$ is input to master motor 20a via an adder 27. Zoom signal M is input to a gate generating circuit 30, whereby the following gate signal G_1 is output.

$$G_1 = \begin{cases} 0 & (dM/dt = 0) \\ 1 & (dM/dt \neq 0) \end{cases}$$

Gate signal G_1 is input to slave position target setting unit 31 and switch 34. The output signal P_{SR} of slave position target setting unit 31 is as follows, depending on gate signal G_1 .

$$P_{SR} = \begin{cases} P_M/(k_1M) & (G_1 = 0) \\ P_{SRO} & (G_1 = 1) \end{cases}$$

Here, P_{SRO} is $P_M/(k_1M)$ immediately prior to G_1 changing from 0 to 1.

The output signal P_{ME} of switch 34 becomes

$$P_{ME} = \begin{cases} 0 & (G_1 = 0) \\ k_1MP_S & (G_1 = 1). \end{cases}$$

The master force command value F_{MR} which is the output of switch 35 is as follows, depending on a mode command signal C_F from switch 36 and the gate signal G_1 from the gate generating circuit 30.

$$F_{MR} = \begin{cases} 0 & (G_1 = 1) \\ k_2F_S & (G_1 = 0, C_F = 0) \\ k_2MF_S & (G_1 = 0, C_F = 1) \end{cases}$$

Parameter C_F is a command signal designating a control mode for force transmitted from the slave to the master, and is used to select whether the magnitude of transmitted force should change according to zoom factor.

To summarize the preceding, signals input to the master and slave motors 20a, 20b depending on the state of zoom factor m and mode command signal C_F are indicated in Table 2.

Table 2

C_F	dM/dt	master motor signal	slave motor signal
0	0	$k_2F_S - F_M$	$(P_M/K_iM) - P_S$
0	$\neq 0$	$k_1MP_S - P_M$	P_{SRO}
1	0	$k_2MF_S - F_M$	$(P_M/K_iM) - P_S$
1	$\neq 0$	$k_1MP_S - P_M$	P_{SRO}

The principle of operation is now described. The master and slave joints are controlled as follows, by the values of C_F and dm/dt ($= dM/dt$).

A $C_F = 0, dM/dt = 0$

A master joint is controlled so as to generate force equivalent to a multiple k_2 of the force being applied to a slave joint from the outside. Positioning of the slave joint is controlled according to movement of the master joint. However, the angle of motion θ_{MR} of the master joint is multiplied by a factor of θ_M/k_1M for transmission to the slave, whereby the angle of motion of the slave as it follows the master joint is

$$\theta_{SR} = \theta_M/k_1M \quad \dots (1)$$

This state is illustrated in Fig. 3. It is assumed that the master joint [moves] from point A_{MR} to point B_{MR} . In the absence of the circuitry taught in the present invention, the slave joint simply rotates from point A_I to point B_I by an angle $\theta_{SI}(=\theta_M)$; on the monitor screen being viewed by the operator, [the joint appears to] move from point A_{II} to point B_{II} by an angle $M\theta_{SI}$. Accordingly, even where the operator moves the master joint only slightly, since the motion is [magnified] by factor M when displayed on the monitor screen, moving the slave joint a slight amount on the monitor screen requires moving the master joint even more slightly, by a factor of $1/M$. This makes manipulation difficult, and places a considerable burden on the operator.

According to the present embodiment, however, to move the slave joint by [an angle of] θ_{SI} on the monitor screen, it is sufficient to simply move the master joint by the same angle $\theta_{MR} = \theta_{SI}$; the actual angle of movement θ_{SR} of the slave joint at this time is $\theta_{SR} = 1/M\theta_{SI} (= (1/M)\theta_{MR})$, i.e. scaled down by a factor of $1/M$. Accordingly, even where the operator has zoomed in on an image containing the slave manipulator on the monitor screen, it is a relatively simple matter to finely position the slave manipulator while viewing the slave manipulator on the monitor screen.

Specifically, as shown in Fig. 4, when the operator 9 grasps the handle portion 13a of manipulator 1a and moves the handle portion 13a by [a distance] l_m parallel to the screen of the monitor television, [the slave manipulator appears to move by distance] l_1 on the television screen. l_1 is given by the following equation, where l_s is the actual distance traveled by the slave manipulator.

$$l_1 = m l_s \quad \dots (2)$$

Here, m is the magnification to the television monitor image relative to the actual image of the slave joint; with respect to the distance L (Fig. 2) between the television camera 6 and the gripper 13b slave manipulator 1b, the relationship

$$m = m_0 \cdot M \cdot L \quad \dots (3)$$

holds. Since $l_s = P_s$, (2) can be written as

$$l_1 = m_0 \cdot M \cdot L \cdot P_s.$$

As will be apparent from Table 2, since position control is done such that $P_s \approx (P_M/k_1M)$,

$$l_1 = (m_0 L / k_1) P_M$$

Further, since $P_M = l_M$,

$$l_1 / l_M = m_0 L / k_1 \quad \dots (4)$$

In order to maintain a constant ratio of the distance l_M over which the master manipulator moves to the distance l_1 over which the slave manipulator [appears to] move on the television monitor, it is sufficient to perform control such that $m_0 L / k_1$ is constant. Accordingly, the arrangement for position control of camera arm 4 is such that

$$L = L_0 (= \text{a constant value}). \quad \dots (5)$$

Here, it is given by

$$k_1 = (l_1 / (m_0 L_0 \cdot l_M)) \quad \dots (6).$$

In this embodiment, camera arm 4 is mounted on shoulder joint 10b, so a degree of freedom of 3 is acceptable, with a construction having the directions of movement 110-113 shown in Fig. 2.

The master joint is controlled so as to generate force equivalent to the force F_S exerted on the slave joint from the outside, multiplied by a force gain k_2 . Here, the rigidity (spring constant k) of an object on which the slave manipulator is currently exerting force is given by the following equation.

$$k = F_S / \quad \dots (7)$$

Here, ΔP_S denotes deformation resulting from application of force by the slave manipulator to the object. From Table 2, the master joint is force-controlled such that reaction force is generated by the master manipulator in the form $F_M \approx k_2 F_S$. Where the slave manipulator undergoes displacement of ΔP_S , from Table 2, the master manipulator will need to undergo displacement of $\Delta P_M = k_1 M \Delta P_S$. As a result, the rigidity k_3 transmitted to the manipulator is given by

$$k_3 = (F_M / \Delta P_M) = (k_2 F_S / k_1 M \Delta P_S) = (k_2 / k_1) \cdot (k / M) \quad \dots (8)$$

Accordingly, where

$$k_2 = k_1 \quad \dots (9)$$

is selected, rigidity transmitted to the master will be $1/M$. Thus, even if the slave manipulator is handling a hard object, the operator controlling the master manipulator

will have the perception of handling a soft object. If the object is vibrating, the vibration will be attenuated by a factor of $1/M$ when transmitted to the master manipulator, so that unnecessary information is not transmitted to the master manipulator.

B $C_F = 1, dm/dt = 0$

Depending on the task, it may be necessary to accurately transmit to the master actual rigidity on the slave side. In such instances, the $C_F = 1, dm/dt = 0$ mode is used. Specifically, since $F_M \approx k_2 M F_S$,

$$k_3 = (F_M/\Delta P_S) = (k_2 F_2/k_1 \Delta P_S) = (k_2/k_1) k \quad \dots (10)$$

Where k_2/k_1 is selected,

$$k_3 = k \quad \dots (11).$$

C Where zoom factor M is changing ($dm/dt \neq 0$)

Where the zoom factor M changes, the slave position command value θ_{SR} changes according to Equation (1). This means that the slave manipulator will give rise to drift motion due to change in the zoom factor, regardless of the master manipulator. In modes A and B, it is necessary to take care to avoid the slave manipulator colliding with surrounding obstacles during change in the zoom factor. There is a risk that unnecessary zoom operation may result in the slave manipulator colliding with an obstacle, possibly breaking the chassis and the obstacle. Accordingly, when the zoom factor M is changing, calculations are performed such that the position command values P_{SR} for all joints of the slave manipulator are held at the values P_{SRO} just prior to the change, and position control is performed such that slave joints are subsequently kept stationary in their current positions. At the same time, master joints are position controlled such that

$$P_M \approx k_1 M P_S \quad \dots (12).$$

If this position control were not executed, even at the same magnification with the master manipulator placed in the same joint attitude, the slave manipulator will not return to the same location, so that the location cannot be reproduced. In this embodiment, position control represented by Equation (12) is executed by master joints, whereby position reproducibility between the master manipulator and slave manipulator is not impaired.

According to the embodiment described hereinabove, there is the advantage that master and slave manipulators can be controlled without being aware of changes in zoom ratio.

Similar advantages could be obtained by means of another embodiment wherein a joystick is used in place of a master manipulator, by controlling the speed of the slave joints such that the ratio v_R/M of zoom factor M and the slave speed instruction value v_R by the joystick is equal to the speed command value of the slave manipulator.

As another variation, a 3-D television could be used in place of a television monitor. This variation has the advantage that finer positioning is possible.

As yet another variation, similar advantages could be obtained by employing a method for enlarging/shrinking the monitor image by means of an image processing device, rather than a zoom lens, as the means for changing the zoom factor on the television screen. This variation has the advantage of obviating the need for a zoom lens, thus reducing the weight of the slave manipulator. Similar advantages could also be obtained by changing the distance L between slave gripper 13 and television camera 6, instead of an image processing device.

(Effects of the Invention)

According to the invention set forth herein, movement of the slave manipulator is [multiplied by] a factor of $1/M$ depending on the zoom factor M , so that the amount of movement in the manipulator image displayed on the monitor television is dependent solely upon the command value by the operator, irregardless of the zoom factor, thereby dramatically improving the ease of fine movement of the manipulator.

Brief Description of the Drawings

Fig. 1 is a block diagram showing an embodiment of a manipulator control device according to the invention; Fig. 2 is a schematic illustration of an exemplary manipulator system embodying the invention; Fig. 3 shows the relationship between master and slave angles of movement; and Fig. 4 shows the relationship between master and slave displacement on the monitor television.

1 ... manipulator, 4 ... camera arm, 5 ... monitor television, 6 ... television camera, 7 ... zoom lens, 15 ... control device, 20 ... motor, 21 ... position sensor, 22 ... force sensor, 23 ... zoom factor sensor, 24 -29 ... computing units, 30 ... gate generating circuit, 31 ... slave position target setting device, 34 ... switch, 35 .. master force command setting device, 36, 37 ... switches of control device 15

Fig. 1

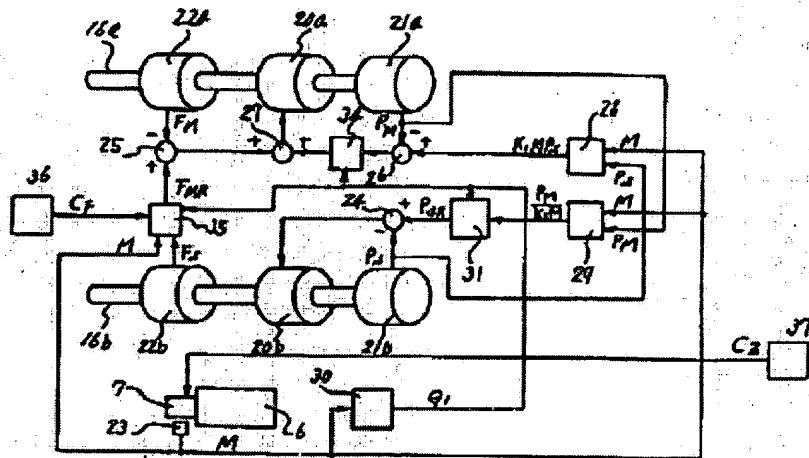


Fig. 2

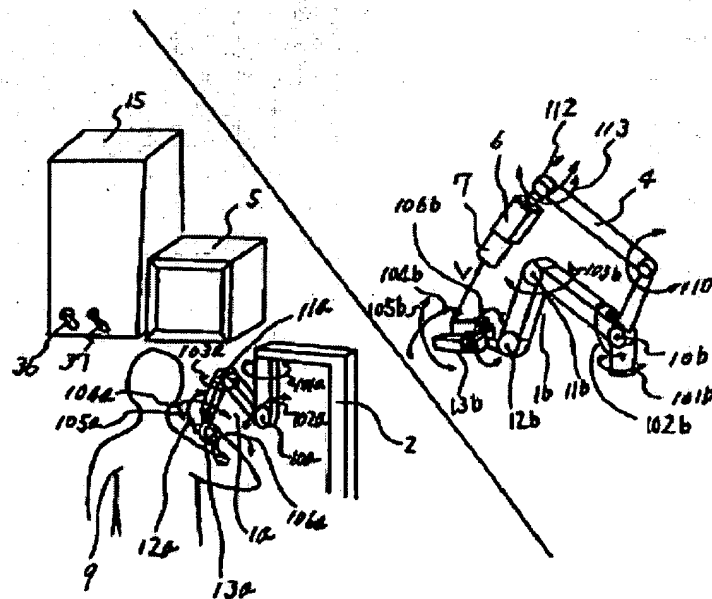


Fig. 3

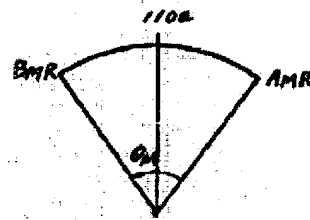
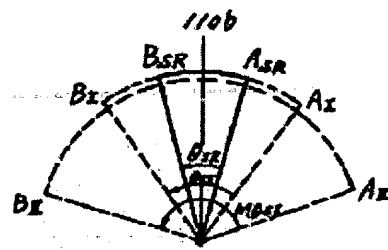


Fig. 4

